PART11 熱サイクルと熱効率

目標 熱サイクルと熱効率について学びましょう。

Chapter1 熱サイクルと熱効率

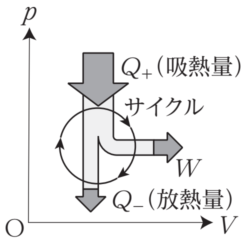
熱サイクル1周に対する熱力学第1法則

熱機関では，色々な過程を経て元の状態に戻すことを繰り返す。この状態変化１回を**サイクル**という。サイクル１周で気体が吸収した**熱量を** Q_+，**正味の仕事を** W，外へ**放出する熱量**を Q_- とすると

（Q_+：気体が得た熱量[J]　Q_-：気体が放出した熱量[J]　W：正味の仕事[J]）

【注】

熱機関をまわし，１周させるとはじめの状態に戻るから，温度も元に戻り，**内部エネルギーの変化は**０となる。よって，仕事 W と熱量だけが残る。熱量を，気体が得た正の分 Q_+ と気体が失った負の分の大きさ Q_- に分けて書くと，熱力学第１法則は上の式になる。



熱効率

（Q_+：気体が得た熱量[J]　Q_-：気体が放出した熱量[J]　W：正味の仕事[J]）

重要

熱の吸収・放出を繰り返して，熱を仕事に変える装置を総称して**熱機関**という。

知っておこう

正味の仕事は**サイクルで囲まれた部分の面積**としても計算できる。

重要

熱効率：
サイクル１周で気体が得た熱量のうち，何％が（正味の）仕事として活かせたか，という比。

知っておこう

熱力学第２法則：
熱効率を 100％にはできない。

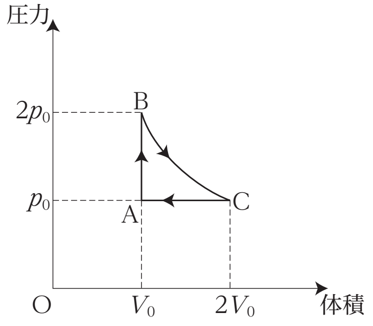
まとめ

熱サイクル 1 周に対する熱力学第 1 法則：$Q_+ = W + Q_-$

熱効率：$e = \dfrac{W}{Q_+} = \dfrac{Q_+ - Q_-}{Q_+}$

Chapter2　演習問題

　単原子分子理想気体 1mol を，図のように A → B → C → A と状態変化させた。B から C は等温変化で，気体が吸収した熱量は Q_0 であった。



問 1　A から B の過程で，気体が吸収した熱量を求めよ。放出した場合は負とせよ。

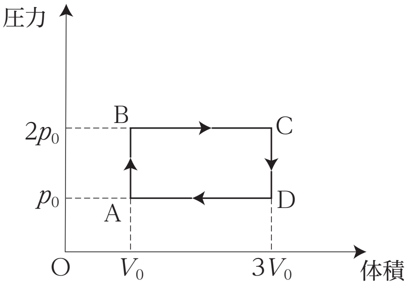
問 2　C から A の過程で，気体が吸収した熱量を求めよ。放出した場合は負とせよ。

問 3　A → B → C → A の過程の熱効率を求めよ。

< Note >

第7講　PART11　確認問題

問1　n [mol]の単原子分子理想気体を図のように状態変化させた。このとき，状態Aにおける絶対温度を T_A [K]とする。ただし，気体定数を R [J/(mol·K)]とする。



(1)　状態Aにおける絶対温度 T_A を表す式として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。

①　$\dfrac{nR}{p_0V_0}$　　②　$\dfrac{3nR}{2p_0V_0}$

③　$\dfrac{p_0V_0}{nR}$　　④　$\dfrac{3p_0V_0}{2nR}$

(2)　状態Bにおける絶対温度 T_B を，T_A を用いて表した式として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。

①　T_A　　②　$2T_A$

③　$3T_A$　　④　$4T_A$

(3)　状態Aから状態Bの変化において，気体が吸収した熱量 Q_{AB} として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。

①　$\dfrac{1}{2}p_0V_0$　　②　p_0V_0

③　$\dfrac{3}{2}p_0V_0$　　④　$2\,p_0V_0$

(4)　状態 C における絶対温度 T_C を，T_A を用いて表した式として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。

①　T_A　　②　$2T_A$
③　$3T_A$　　④　$6T_A$

(5)　状態 B から状態 C の変化において，気体が外部にした仕事 W_{BC} として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。ただし，気体が外部に正の仕事をした場合は $W_{BC} > 0$，気体が外部に負の仕事をした場合は $W_{BC} < 0$ とする。

①　$2\,p_0V_0$　　②　$4\,p_0V_0$
③　$-2\,p_0V_0$　　④　$-4\,p_0V_0$

(6)　状態 B から状態 C の変化において，気体が吸収した熱量 Q_{BC} として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。

①　$4\,p_0V_0$　　②　$6\,p_0V_0$
③　$8\,p_0V_0$　　④　$10\,p_0V_0$

(7)　状態 D から状態 A の変化において，気体が外部にした仕事 W_{DA} として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。ただし，気体が外部に正の仕事をした場合は $W_{DA} > 0$，気体が外部に負の仕事をした場合は $W_{DA} < 0$ とする。

①　$2\,p_0V_0$　　②　$4\,p_0V_0$
③　$-2\,p_0V_0$　　④　$-4\,p_0V_0$

(8)　このサイクルの熱効率として最も適当なものを，①～④のうちから一つ選べ。

①　$\frac{1}{23}$　　②　$\frac{2}{23}$
③　$\frac{3}{23}$　　④　$\frac{4}{23}$

第７講　熱力学

PART1　理想気体1

問１　6.0Pa

問２　1.0×10^{5} Pa

問３　1.4倍

PART2　理想気体2

問１　3.2倍

問２　1.5×10^{-2}[m^3]

PART3　1モルとは

問１　1.2×10^{24} 個

問２　6.0g

問３　5.6×10^{-3}[m^3]

PART4　気体分子のエネルギー

問１　1.5倍

問２　2.0倍

問３　1.0倍

PART5　内部エネルギー

問１　2倍

問２　1.5×10^{4}J

PART6　気体と仕事

問１　6.0×10^{5}J

問２　4.0×10^{5}J

PART7　熱力学第1法則

問１　4.0×10^5J

問２　6.0×10^5J

問３　1.0×10^6J

PART8　モル比熱

問１　2.5×10^3J

問２　4.2×10^3J

PART9　定積変化と定圧変化

問１　B→C

問２　A→B　B→C

問３　A→B　B→C

PART10　等温変化と断熱変化

問１　A→B　B→C

問２　A→B

問３　B→C

PART11　熱サイクルと熱効率

問１　$\frac{3}{2}p_0V_0$

問２　$-\frac{5}{2}p_0V_0$

問３　$1-\frac{5p_0V_0}{3p_0V_0+2Q_0}$

第7講　PART11　確認問題　解答

問 1

（1）③

解説：

状態方程式 $p_0V_0=nRT_\mathrm{A}$ より

$$T_\mathrm{A}=\frac{p_0V_0}{nR}$$

（2）②

解説：

ボイル・シャルルの法則より，

$$\frac{p_0\cdot V_0}{T_\mathrm{A}}=\frac{2p_0\cdot V_0}{T_\mathrm{B}}$$

これを解いて $T_\mathrm{B}=2T_\mathrm{A}$

（3）③

解説：

単原子分子の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ であるから，

$$Q_\mathrm{AB}=\frac{3}{2}nR(T_\mathrm{B}-T_\mathrm{A})=\frac{3}{2}nR(2T_\mathrm{A}-T_\mathrm{A})$$

$$=\frac{3}{2}nRT_\mathrm{A}=\frac{3}{2}nR\cdot\frac{p_0V_0}{nR}=\frac{3}{2}p_0V_0$$

（別解）

定積変化であるから $W_\mathrm{AB}=0$

内部エネルギーの変化量は

$$\Delta U_\mathrm{AB}=\frac{3}{2}nR(T_\mathrm{B}-T_\mathrm{A})=\frac{3}{2}p_0V_0$$

よって，熱力学第 1 法則より

$$Q_\mathrm{AB}=\Delta U_\mathrm{AB}+W_\mathrm{AB}=\frac{3}{2}p_0V_0$$

（4）④

解説：

シャルルの法則より，

$$\frac{V_0}{T_\mathrm{B}}=\frac{3V_0}{T_\mathrm{C}}$$

これを解いて $T_\mathrm{C}=3T_\mathrm{B}=3\cdot2T_\mathrm{A}=6T_\mathrm{A}$

⑸　②

解説：

$W_{BC}=p\,\Delta V=2p_0\cdot(3V_0-V_0)=4p_0V_0$

⑹　④

解説：

単原子分子の定圧モル比熱 $\frac{5}{2}R$ より，

$$Q_{BC}=\frac{5}{2}nR(T_C-T_B)=\frac{5}{2}nR\cdot 4T_A=10nRT_A$$
$$=10nR\cdot\frac{p_0V_0}{nR}=10p_0V_0$$

（別解）

内部エネルギーの変化量は

$$\Delta U_{BC}=\frac{3}{2}nR(T_C-T_B)=\frac{3}{2}nR\cdot 4T_A$$
$$=6nRT_A=6nR\cdot\frac{p_0V_0}{nR}=6p_0V_0$$

よって，熱力学第 1 法則より

$$Q_{BC}=\Delta U_{BC}+W_{BC}=6p_0V_0+4p_0V_0=10p_0V_0$$

⑺　③

解説：

$W_{DA}=p\,\Delta V=p_0\cdot(V_0-3V_0)=-2p_0V_0$

⑻　④

解説：

$$e=\frac{W}{Q_{in}}=\frac{W_{BC}+W_{DA}}{Q_{AB}+Q_{BC}}=\frac{4p_0V_0+(-2p_0V_0)}{\frac{3}{2}p_0V_0+10p_0v_0}=\frac{2}{\frac{23}{2}}=\frac{4}{23}$$